



Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Beschrieben wird ein Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht (1) in härthbarem Stahl (2) mit einer Materialdicke (3) ohne Sekundärerwärmung umfassend zumindest die folgenden Schritte: a) Positionieren einer Schweißelektrode (4) zu einer Schweißlinie (5); b) Anlegen einer Spannung; c) Zuführen eines Plasmagases (6); d) Ausbilden eines Lichtbogens (7); e) Schmelzen des Stahls (2) nahe der Schweißlinie (5) über die gesamte Materialdicke (3). Dieses Verfahren findet bevorzugte Anwendung beim Verbinden von Komponenten zur Drehmomentsübertragung bei Kraftfahrzeugen.

Plasma-Stichlochschweißen von härtbarem Stahl

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht in härtbarem Stahl mit einer vorgegebenen Materialdicke ohne Sekundärerwärmung. Insbesondere wird auch ein Verfahren zum fügetechnischen Verbinden von Komponenten zur Drehmomentübertragung eines Kraftfahrzeugs aus härtbarem Stahl durch Erzeugung einer Schweißnaht beschrieben. Gegenstand sind auch
- 10 Verbunde und Fahrzeuge, die Verbindungen von Komponenten zur Drehmomentübertragung aus härtbarem Stahl umfassen. Bevorzugtes Einsatzgebiet der Erfindung sind Schweißnähte von Antriebsstrangkomponenten im Automobilbereich.
- 15 So genannte Kohlenstoffstähle mit einem Kohlenstoffgehalt von mindestens 0,25 % und niedrig legierte Stähle mit Kohlenstoffgehalt oberhalb von 0,2 % sind nur bedingt konventionell schweißbar (nachfolgend generell auch als „(direkt, insbesondere nicht nur durch Einsatzhärteten) härtbare Stähle“ bezeichnet). Die Ursache dafür besteht in der durch den Kohlenstoff bewirkten und durch
- 20 verschiedene Legierungselemente verstärkten Aufhärtung in der Schweißnaht und der Wärmeeinflusszone, die zu Rissen führt. Die Aufhärtung und nachfolgende Rissbildung kommt zustande durch die Bildung von nur wenig verformungsfähigem, nicht oder wenig selbst angelassenem Martensit oder Bainit, die nicht in der Lage sind, die während der Abkühlung auftretenden hohen
- 25 Spannungen plastisch abzubauen. Hohe Abkühlgeschwindigkeiten, steigende Gehalte an Kohlenstoff und/oder an Legierungselementen fördern diese Aufhärtung und Härtungstiefe.
- Bislang wurde die Auffassung vertreten, dass konventionelle Schweißverfahren
- 30 bzw. Gassschmelzschweißverfahren aufgrund ihrer relativ niedrigen Leistungsdichte zu relativ kleinen Erwärmungsgeschwindigkeiten, großflächiger Wärmeeinbringung und voluminösen Schweißnähten führen. Deshalb wurde

davon ausgegangen, dass der Einsatz eines Strahlschweißverfahrens wie das Laser- oder Elektronenstrahl-Schweißen wegen der höheren Leistungsdichte allein zur Ausbildung fügetechnischer Verbindungen von härzbaren Stählen herangezogen werden kann. Ein solches Strahlschweißverfahren geht
5 beispielsweise aus der EP 0 925 140 B1 hervor.

Allen bekannten Versuchen betreffend das Strahlschweißen von härzbaren Stählen ist jedoch gemein, dass eine durchgreifende Vorwärmung der Komponenten bzw. Bauteile im Bereich von 400°C und darüber realisiert wird. Damit soll verhindert
10 werden, dass es in Folge einer schnellen Abkühlung zu einer Art Selbstabschreckung des härzbaren Stahls und somit zur Rissbildung kommt. Diese Verfahren mit Vorwärmung sind technisch jedoch aufwändiger, z. B. müssen Vorrichtungen zur induktiven Erwärmung der Bauteile in die Bearbeitungsstationen integriert und der Schweißprozess neu abgestimmt werden.
15

Gerade im Zusammenhang mit Komponenten des Antriebsstranges aus härzbarem Stahl im Automobilbau tritt somit immer wieder das Problem auf, ein Schweißverfahren bereitzustellen, welches massenbezogen eine solche Schweiß-Streckenenergie zur Verfügung stellt, dass eine hochwertige, brauchbare und robuste Schweißnaht erzielt wird. Das bedeutet insbesondere, dass ein drehmomentstefes Fügen von Wellen oder ähnlichen Komponenten realisiert werden soll, wobei dieser Fügeprozess geeignet sein sollte, in eine Fließfertigung integriert zu werden. Des weiteren sollte das Schweißverfahren möglichst kostengünstig und unkompliziert bezüglich der Handhabung sein. Außerdem wäre
20 es vorteilhaft, wenn ein Schweißverfahren angegeben werden könnte, welches flexibel bezüglich möglicher Bauteilgeometrien bzw. unterschiedlicher Ausgestaltungen der Schweißnähte ist. Die mit dem Verfahren hergestellten Verbindungen sollen insbesondere den Anforderungen im Automobilbau gerecht
25 werden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, die mit Bezug auf den Stand der Technik beschriebenen Probleme zumindest teilweise zu lindern bzw. die vorstehend genannten Zielsetzungen wenigstens teilweise zu verwirklichen.

Insbesondere soll ein Gasschmelzschweißverfahren angegeben werden, welches die rissfreie Fügung von Komponenten aus härtbarem Stahl gewährleistet. Bevorzugt soll das Gasschmelzschweißverfahren Verbunde von Komponenten eines Antriebsstrangs eines Fahrzeugs bereitstellen, welche den Anforderungen im Automobilbau genügen.

- 5 5 die rissfreie Fügung von Komponenten aus härtbarem Stahl gewährleistet. Bevorzugt soll das Gasschmelzschweißverfahren Verbunde von Komponenten eines Antriebsstrangs eines Fahrzeugs bereitstellen, welche den Anforderungen im Automobilbau genügen.
- 10 10 Diese Aufgaben werden gelöst mit einem Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 bzw. des Patentanspruchs 2. Bevorzugte Ausgestaltungen des Verfahrens und damit bereitgestellte Verbunde von mindestens zwei Komponenten zur Drehmomentübertragung sowie Fahrzeuge sind in den abhängig formulierten Patentansprüchen beschrieben. Es 15 wird darauf hingewiesen, dass die in den Patentansprüchen aufgeführten Merkmale in beliebiger, technologisch sinnvoller Weise miteinander kombiniert werden können. Außerdem können die in den Patentansprüchen aufgeführten Zusammenhänge durch Merkmale der Beschreibung näher charakterisiert werden.
- 20 20 Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht in härtbarem Stahl mit einer Materialdicke ohne Sekundärerwärmung umfasst zumindest die folgenden Schritte:
 - a) Positionieren einer Schweißelektrode zu einer Schweißlinie;
 - b) Anlegen einer Spannung;
 - c) Zuführen eines Plasmagas;
 - d) Ausbilden eines Lichtbogens;
 - e) Schmelzen des Stahls nahe der Schweißlinie über die gesamte Materialdicke.
- 25 30 Unter einer „Schweißnaht“ wird ein wiedererstarrter Bereich des härtbaren Stahls beschrieben, der in Folge der Temperatureinwirkung durch den Lichtbogen zuvor

in einen schmelzförmigen Zustand gebracht wurde. Die Schweißnaht kann weitere Bestandteile aufweisen, insbesondere dann, wenn zur Erzeugung der Schweißnaht ein Zusatzwerkstoff eingesetzt wird. Die Schweißnaht folgt im wesentlichen einer gewünschten Schweißlinie. Mit „Schweißlinie“ ist also mit anderen Worten der 5 letztendliche Verlauf der Schweißnaht gemeint.

Gemäß Schritt a) wird nun die Schweißelektrode bezüglich der Schweißlinie positioniert bzw. ausgerichtet. Dabei ist es unerheblich, ob die Schweißelektrode zum Bauteil ausgerichtet wird oder umgekehrt. Bei der Schweißelektrode handelt 10 es sich bevorzugt um eine Wolfram-Elektrode. Diese Schweißelektrode ist mit einem Zündgerät bzw. einer Schweißenergiequelle verbunden. Entsprechend Schritt b) wird nun eine Spannung angelegt. Grundsätzlich ist es möglich, die Spannung zwischen Teilen des Schweißbrenners selbst auszubilden, so dass ein so genannter „nicht übertragender“ Lichtbogen erzeugt wird. Bevorzugt ist jedoch im 15 vorliegenden Fall die Ausbildung eines „übertragenden“ Lichtbogens, wobei eine Spannung zwischen der Schweißelektrode und dem Bauteil aus härzbarem Stahl vorgesehen wird. Zur Bereitstellung der gewünschten Schweißspannung können Transformatoren, Gleichrichtersätze, Impulsgeneratoren, etc. eingesetzt werden. Nun wird nach Schritt c) Plasmagas zugeführt. Das Zuführen des Plasmagases 20 erfolgt bevorzugt ebenfalls mit dem Schweißbrenner, wobei das Plasmagas vorteilhafterweise zentrisch und in unmittelbarer Nähe zur Schweißelektrode ausströmt. Nun wird ein Lichtbogen ausgebildet (Schritt d)). In Folge des Zusammenspiels von Plasmagas und Lichtbogen wird eine konzentrierte, hochenergetische Wärmeeinbringung in die Bauteile aus härzbarem Stahl 25 gewährleistet. Nach Schritt e) wird in Folge dieser Wärmeeinbringung nun der härzbare Stahl nahe der Schweißlinie über die gesamte Materialdicke geschmolzen. Hierbei wird insbesondere der so genannte „Stichlocheffekt“ ausgenutzt. Dabei schmilzt der Plasmastrahl den Werkstoff in seiner ganzen Tiefe auf, so dass sich eine Schweißöse bzw. ein Stichloch bildet. Beim Schweißen 30 bewegt sich der Plasmastrahl mit der Schweißöse an den Stoßkanten entlang. Hinter dem Plasmastrahl fließt das geschmolzene Metall in Folge der

Oberflächenspannung des Schmelzbades und des Dampfdrucks in der Schweißöse wieder zusammen und bildet so die Schweißnaht.

Bei dem hier vorgeschlagenen Plasma-Stichlochschweißen erfolgt eine solche
5 Energieeinbringung in den härzbaren Stahl, dass eine Selbstabschreckung bzw.
eine unerwünschte Aufhärtung des Materials nicht stattfindet. Damit wird
erstmalig ein Schweißverfahren durch elektrische Gasentladung
(Plasmaschweißen) vorgeschlagen, dass einerseits eine konzentrierte,
hochenergetische Wärmeeinbringung ohne Sekundärwärmung realisiert und
10 gleichzeitig große Bauteil-Verzüge in Folge einer großflächigen
Wärmeeinbringung vermeidet. Trotz der konzentrierten, hochenergetischen
Wärmeeinbringung können die Wärmeverteilung und die Wärmeführung so
eingestellt werden, dass die Abkühlgradienten nicht in den kritischen Bereich
kommen, wie dies beispielsweise beim Laser- oder Elektronenstrahlschweißen
15 gegeben ist. Damit kann auf eine Sekundärwärmung vor, während und nach
dem Schweißvorgang verzichtet werden, wobei rissfreie Schweißnähte erzielbar
sind.

Im Hinblick auf die „rissfreie“ Ausgestaltung der Schweißnaht ist erläuternd
20 anzumerken, dass diese Verbindung keine so genannten Makro-Risse aufweist,
also Risse, die eine Größe haben, dass sie mit bloßem Auge erkennbar sind.
Kleinere, so genannte Mikro-Risse (die Länge dieser Risse liegt häufig nur im
Bereich eines Korndurchmessers des Materials und sie sind nur mit
mikroskopischen (metallographischen) Verfahren erkennbar) treten hierbei auch
25 nur in einem akzeptablen Umfang auf. Ein „Riss“ im vorliegenden Sinn ist
insbesondere eine begrenzte Werkstofftrennung mit überwiegend
zweidimensionaler Ausdehnung, die im Schweißgut, in der Wärmeeinflusszone
und/oder im Grundwerkstoff auftreten kann, insbesondere aufgrund von
Eigenspannungen. Von einem „Riss“ zu unterscheiden sind beispielsweise
30 Hohlräume, Gaseinschlüsse, Poren, Lunker, Feststoffeinschlüsse und/oder andere
Fehler einer Schweißnaht. Auch wenn selbstverständlich die von Rissen zu

unterscheidenden Fehler einer Schweißnaht möglichst zu vermeiden sind, wird hier vordergründig auf die (Makro-)Rissfreiheit abgezielt, da Risse die gefürchtete und am weitesten verbreitete Fehlerart ist, die eine nachträgliche Reparatur unumgänglich macht. Dies war über viele Jahre auch Grund dafür, dass 5 hoch-kohlenstoffhaltige Stähle, die beispielsweise einer beachtlichen Belastung im Einsatz unterliegen, nur mit einer Sekundärerwärmung geschweißt wurden.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum fügetechnischen Verbinden von Komponenten zur Drehmomentübertragung eines 10 Fahrzeuges aus härtbarem Stahl mit einer Materialdicke durch Erzeugen einer Schweißnaht ohne Sekundärerwärmung vorgeschlagen, das zumindest die folgenden Schritte umfasst:

- a) Positionieren einer Schweißelektrode zu einer Schweißlinie;
- b) Anlegen einer Spannung;
- c) Zuführen eines Plasmagases;
- d) Ausbilden eines Lichtbogens;
- e) Schmelzen des Stahls nahe der Schweißlinie über die gesamte Materialdicke.

Bei dem hier vorgeschlagenen Verfahren handelt es sich um eine Spezial-Anwendung des vorstehend beschriebenen Schweißverfahrens. In diesem Zusammenhang wird das Schweißverfahren zum fügetechnischen Verbinden von Komponenten zur Drehmomentübertragung eines Fahrzeuges eingesetzt. Aufgrund der hohen Belastung der Komponenten während des Einsatzes sind hier 20 besondere Vorgaben hinsichtlich der Qualität der Schweißnaht, der Formgenauigkeit, etc. zu gewährleisten. Dabei wird insbesondere eine Schweißnaht als so genannte I-Naht realisiert, bei dem die zu fügenden Bauteile bzw. Komponenten stumpf aufeinander gestoßen werden. Die Schweißnaht selbst kann als Radial- und/oder Axialnaht ausgeführt sein. Bevorzugt wird so eine 25 Radialrundnaht ohne Wurzelschutz geschweißt. Die Schweißnaht ist frei von Rissen und extremen Randkerben und entspricht den üblichen Vorstellungen 30

- hinsichtlich Naht- und Wurzelüberhöhung, womit die Teilbereiche der Schweißnaht gemeint sind, die über die ursprüngliche Oberfläche der zu fügenden Teile jeweils überstehen. Die Wurzeln der Schweißnaht bildet sich dabei auf der Seite der Schweißnaht aus, die auf der der Schweißelektrode abgewandten Seite
- 5 der Komponenten liegt. Bevorzugt werden dabei Winkelfehler (z.B. durch partielles, zeitversetztes Schrumpfen bei der Erstarrung) auch im Rahmen einer Serienfertigung im Bereich kleiner $0,5^\circ$ gehalten. Gleichzeitig lässt sich einfach vermeiden, dass sich die Komponenten während des Fügeprozesses zueinander versetzen, so dass ein Versatz kleiner 0,2 mm gewährleistet werden kann. Dieses
- 10 Schweißverfahren ermöglicht, dass die Stückkosten der geschweißten Komponenten des Antriebsstrangs von Fahrzeugen niedrig gehalten werden können, da auf lange Schweißvorbereitungen und/oder Bauteilnachbearbeitungen verzichtet werden kann.
- 15 Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens weist der härtbare Stahl eine Materialdicke im Bereich von 2,0 mm bis 10,0 mm auf. Bevorzugt ist der Bereich von 2,0 mm bis 8,0 mm, und insbesondere der Bereich von 4,0 mm bis 6,0 mm. Bei härtbaren Stählen dieser Materialdicke lässt sich prozesssicher der „Stichlocheffekt“ realisieren, so dass die gewünschten Energieeinbringung bzw.
- 20 die gewünschte Ausbildung der Schweißnaht sichergestellt ist. Gerade bei den hier angegebenen Materialdicken wird vorgeschlagen, dass die mit dem Schweißverfahren eingebrachte Streckenenergie im Bereich von 234 J/mm bis 3360 J/mm [Joule pro Millimeter] liegt. Damit liegt die eingebrachte Streckenenergie beispielsweise deutlich höher als beim Strahlschweißen wie z. B.
- 25 in dem CO₂-Laser. Die Streckenenergie liegt dabei bevorzugt beim Plasma-Stichlochschweißen in einem Bereich, der mindestens um den Faktor 4 größer ist als bei einem CO₂-Laser bei gleichen Schweißgeschwindigkeiten.
- Weiter wird vorgeschlagen, dass die Schweißnaht einlagig ausgeführt wird. Dabei
- 30 ist es bevorzugt, dass die zu fügenden Komponenten aus härtbarem Stahl zuvor auch nicht lokal fixiert, insbesondere geheftet, werden. Die Durchführung eines

einlagigen Schweißens hat eine sehr gleichmäßige Ausbildung der Schweißnaht zur Folge, so dass beispielsweise bei Mehrlagenschweißungen auftretende unsymmetrische Nahtgeometrien und daraus resultierende Winkelverzüge vermieden werden können. Das einlagige Durchschweißen erzeugt aufgrund ihrer 5 Nahttiefe, Nahtbreite und Nahtform transiente Zugspannungen in dem Maß, dass diese in Verbindung mit der ausreichenden Duktilität des Materials nicht zu Rissen führen. Eine einlagige Durchschweißung zu erzeugen, die aufgrund ihrer Nahttiefe, Nahtbreite und Nahtform und der dadurch lokal begrenzten 10 Wärmeeinbringung transiente Zugspannungen in diesem Umfang erzeugt hat den Vorteil, dass nur sehr geringe Bauteilverzüge auftreten.

Entsprechend einer Weiterbildung des Verfahrens ist die Schweißnaht als Stoßnaht oder Kehlnaht ausgebildet. Bezuglich der Ausbildung als Stoßnaht ist anzumerken, dass diese insbesondere bei Komponenten zur 15 Drehmomentübertragung eingesetzt wird. Aufgrund der Tatsache, dass mit dem vorgeschlagenen Schweißverfahren härzbare Stähle ohne großen technischen Aufwand und insbesondere ohne Sekundärerwärmung geschweißt werden können, hat es besondere Vorteile hinsichtlich Nahtgeometrien, die schwer zugänglich sind, wie beispielsweise einer Kehlnaht. Zudem ist es in Folge der 20 ungleichen Materialverteilung der Komponenten beim Schweißverfahren schwierig, eine geeignete Sekundärerwärmung zu realisieren. Diese Schwierigkeiten werden bei dem erfindungsgemäßen Schweißverfahren vermieden.

25 Besonders bevorzugt ist das Verfahren, wobei ein Plasmastrahl während des Schweißvorgangs in Schweißrichtung mit einer Geschwindigkeit von mindestens 0,2 m/min [Meter pro Minute] bewegt wird. Bevorzugt liegt die Schweißgeschwindigkeit sogar oberhalb von 0,5 m/min. Ganz besonders bevorzugt überschreitet die Schweißgeschwindigkeit dabei nicht den Wert von 5,0 30 m/min.

Insbesondere bei den hier vorgeschlagenen Schweißgeschwindigkeiten liegt ein Schweißstrom an, der zumindest 170 A [Ampére] beträgt. Bevorzugt überschreitet der Schweißstrom die Grenze von 400 A nicht. Besonders bevorzugt ist ein Verfahren, wobei der Plasmastrahl während des Schweißvorgangs in 5 Schweißrichtung eine Schweißstreckenenergie bewirkt, deren Obergrenze so eingestellt ist, dass die Festigkeit der Schweißnaht oberhalb der Anschlusskomponenten liegt. Die Untergrenze wird bevorzugt so eingestellt, dass eine ausreichende Duktilität der Schweißnaht gewährleistet werden kann, die durch Schweißnahthärten von höchstens 650 HV begrenzt wird.

10

Besonders bevorzugt ist die Ausgestaltung des Verfahrens, bei dem die Schweißnaht durch Radialrundschweißen erzeugt wird. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf das Fügen von Komponenten zur Drehmomentübertragung eines Fahrzeugs aus härtbarem Stahl. Damit ist insbesondere eine Variante des 15 Schweißverfahrens gemeint, bei dem bei Hohlprofilen eine über den Umfang geschlossene Schweißnaht erzeugt wird. Der Lichtbogen wird dabei in radialer Richtung rundum um das Bauteil bzw. die Bauteile relativ bewegt. Ein solches Verfahren bietet sich beispielsweise bei der stirnseitigen Verbindung von Hohlwellen oder ähnlichen Bauteilen an.

20

Erfnungsgemäß wird nun auch ein Verbund von mindestens zwei Komponenten zur Drehmomentübertragung aus härtbarem Stahl vorgeschlagen, wobei der Verbund mindestens eine Schweißnaht umfasst, hergestellt mit einem der vorstehend genannten, erfundungsgemäßen Verfahren. Der Verbund dieser zwei 25 Komponenten kann beispielsweise zu Drehmomentübertragungen in Antriebssystemen eines Automobils eingesetzt werden. Damit ist die Möglichkeit geschaffen, die Komponenten nachdrücklich (also im gefügten Zustand) auch einem Härteprozess zuführen zu können, um den dort herrschenden, insbesondere statischen, Belastungen standzuhalten. Aufgrund der Vermeidung von 30 Sekundärerwärmung, Zusatzwerkstoff und ähnliche bei gleichzeitiger Erzielung

einer hochqualitativen Schweißnaht ist ein solcher Verbund gerade auch in einer Serienfertigung einfach und kostengünstig herstellbar.

Ein Verbund, hergestellt mit einem erfindungsgemäß beschriebenen Verfahren,
5 insbesondere Plasmastichlochschweißen, ist zum Beispiel eindeutig daran zu erkennen, dass die Schweißnaht einlagig ist und demnach in der Regel mit einem Aspektverhältnis (V_A) von Tiefe zu Breite der Schweißnaht von ca. 1,0 : 1,5 bis ca. 1,0 : 2,0 ausgeführt ist (insbesondere im Bereich $V_A = 1,0 : 1,2$ bis $1,0 : 1,8$). Die Breite der Wärmeeinflusszone bezogen auf die Schweißnahtmitte, ist größer
10 als die einer Strahlschweißung (mit Laser beträgt V_A etwa 2,5 : 1,0), aber deutlich kleiner als die einer Elektroden-Hand- oder Gasschweißung (beim MIG-Schweißverfahren beträgt V_A etwa 1,0 : 3,0).

Ein solcher Verbund hat sich insbesondere als vorteilhaft erwiesen, wenn
15 zumindest einer der Komponenten eine Hohlwelle mit einer Wandstärke im Bereich von 2,0 mm bis 10,0 mm ist. Ganz besonders bevorzugt weist die Hohlwelle eine Wandstärke im Bereich von 2,0 mm bis 8,0 mm und insbesondere im Bereich von 4,0 mm und 6,0 mm auf. Bevorzugt handelt es sich bei diesen Hohlwellen um Längswellen oder Seitenwellen eines Automobils.

20 Außerdem wird vorgeschlagen, dass der Verbund sowie angrenzende Teilbereiche der Komponenten rissfrei ausgeführt sind. Bezüglich des hier geltenden Begriffsinhalts von „rissfrei“ wird auf die vorstehenden Anmerkungen hierzu verwiesen. Damit werden insbesondere hohe dynamische, langzeitige
25 Wechsellastbeanspruchungen und statische Torsionsbelastungen des Verbundes möglich. So halten derartige Verbunde beispielsweise einer dynamischen langzeitigen Wechselbeanspruchungen von 300.000 Schwingzyklen bei einem Moment von +/- 1.100 Nm und 1650 Nm [Newtonmeter] stand. Dabei im Hinblick auf die statische Torsionsbelastung beträgt das Bruchmoment zumindest
30 3200 Nm.

Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung des Verbundes weist dieser eine Duktilität im Bereich von 250 HV bis 650 HV auf. Damit ist gemeint, dass der Verbund bzw. die Schweißnaht nach dem Härteprüfverfahren von Vickers zu dem vorstehend genannten Ergebnis führt. Vorteilhaft ist in diesem Zusammenhang,
 5 dass die Duktilität im Bereich der Schweißnaht und der Wärmeeinflusszone oberhalb der Komponente im Grundzustand ist. Bevorzugt liegt dabei die Duktilität in einem Bereich bis etwa 500 HV.

Es ist auch möglich, dass der Verbund im Bereich der Schweißnaht und einer
 10 Wärmeeinflusszone einen martensitischen Gefügeanteil von höchstens 30 % aufweist. Dies kann insbesondere als Maß zur Einstellung der entsprechenden Streckenenergie für den jeweils zu schweißenden härtbaren Stahl herangezogen werden. Die hier vorgeschlagene Begrenzung des martensistischen Gefügeanteils kann gewährleisten, dass die Eigenspannungen im Gefüge so gering sind, dass
 15 keine (Makro-) Risse entstehen.

Wie bereits mehrfach angedeutet, liegt der bevorzugte Einsatz des Verfahrens bzw. des Verbundes im Automobilbereich. Aus diesem Grund wird auch ein Fahrzeug umfassend einen Motor mit einem Antriebssystem vorgeschlagen,
 20 wobei das Antriebssystem Komponenten zur Drehmomentübertragung aufweist und mindestens zwei Komponenten mit einem erfindungsgemäßen Verfahren miteinander verschweißt wurden, oder das Fahrzeug einen erfindungsgemäßen Verbund aufweist.

25. Beispiele einer entsprechenden fügetechnischen Verbindung:

Verfahren:

Materialkomponente A:	Rohr aus Ck 35, 70 mm Durchmesser
Wandstärke Komponente A:	5,0 mm

Materialkomponente B:	Rohr aus Cf 53, 70 mm Durchmesser
Wandstärke Komponente B:	6,0 mm
Schweißstrom:	280 A
Vorschubgeschwindigkeit:	0,5 m/min

Verbund:

Abmessungen der Schweißnaht:	6,0 mm Tiefe, 3,0 – 5,0 mm Oberraupe
Duktilität:	250 – 650 HV
Belastungstests:	dynamisch: 300.000 Schwingzyklen +/- 1.100 Nm statisch: Bruchmoment > 3200 Nm
Optisches Prüfergebnis	rissfrei

Die Erfindung sowie das technische Umfeld werden nachfolgend anhand der 5 Figuren näher erläutert. Es ist darauf hinzuweisen, dass die Figuren besonders bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung zeigen, diese jedoch nicht darauf begrenzt ist. Die Darstellung in den Figuren sind schematisch und im Regelfall nicht zur Veranschaulichung von Dimensionen geeignet.

10 Es zeigen:

Fig. 1 Schematisch den Aufbau eines Schweißbrenners während des Schweißvorgangs;

15 Fig. 2 eine Schweißnaht nahe der Schweißnahtoberfläche;

Fig. 3 die Schweißnaht nahe der Schweißnahtwurzel;

Fig. 4 schematisch eine Ausführungsvariante eines Verbundes im Querschnitt gefügter Komponenten; und

Fig. 5 schematisch ein Antriebssystem eines Fahrzeugs.

5

Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und können nur begrenzt zur Veranschaulichung der tatsächlichen Größenverhältnisse herangezogen werden.

Figur 1 zeigt schematisch und in einem Querschnitt einen Schweißbrenner 33 zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Der Schweißbrenner 33 wird mit einer Schweißelektrode 4 gebildet, die zentrisch zum Schweißbrenner angeordnet ist. Die Schweißelektrode 4 aus Wolfram wird von einer Plasmadüse 22 aufweisend eine Wasserkühlung 34 umgeben. Über die Plasmadüse 22 wird während des Schweißvorgangs Plasmagas 6 zugeführt. Konzentrisch zu der Plasmadüse 22 ist eine Schutzgasdüse 21 (bevorzugt aus Kupfer) vorgesehen. Durch einen um die Plasmadüse 22 gebildeten Ringspalt strömt während des Schweißverfahrens Schutzgas 8 aus, welches aufgrund seiner thermischen Leitfähigkeit eine Einschnürung des Lichtbogens 7 beziehungsweise des Plasmastrahls 9 zur Folge hat. Dadurch kann der Plasmastrahl 9 mit relativ kleinem Durchmesser 10 auch über eine große Länge 11 gewährleistet werden.

Zur Durchführung des Verfahrens zur Erzeugung einer Schweißnaht 1 in härtbarem Stahl 2 mit einer Materialdicke 3 im Bereich von 2,0 mm bis 10 mm wird nun zunächst die Schweißelektrode 4 zu einer Schweißlinie 5 (nicht dargestellt) positioniert. Um die Verfahrensviariante Plasmalichtbogen-Schweißen zu realisieren, wird eine Spannung zwischen der Wolframelektrode (Minuspol) und dem härtbaren Stahl (Pluspol) angelegt. Nun wird Schutzgas 8 und Plasmagas 6 durch die Düse zur Schweißstelle gefördert und ein Lichtbogen 7 zwischen der Schweißelektrode 4 und dem härtbaren Stahl 2 ausgebildet. In Folge der hohen Temperatur wird der Stahl 2 nahe der Schweißlinie 5 über die gesamte Materialdicke 3 aufgeschmolzen. Dabei ist in der dargestellten

Ausführungsvariante der so genannte „Stichlocheffekt“ dargestellt, wobei der Plasmastrahl 9 den härtbaren Stahl 2 über die gesamte Materialdicke 3 durchdringt, so dass sich ein Stichloch 24 bzw. eine Schweißöse ausbildet. Das Stichloch 24 hat eine Weite 32, die sich z.B. in Abhängigkeit der
5 Vorschubgeschwindigkeit einstellt.

Beim Schweißen bewegt sich der Plasmastrahl 9 in Schweißrichtung 20 mit dem Stichloch 24. Hinter dem Plasmastrahl 9 fließt das geschmolzene Metall infolge der Oberflächenspannung des Schmelzbads und des Dampfdrucks im Stichloch 24
10 wieder zusammen und bildet so die Schweißnaht 1.

Zur Veranschaulichung der Schweißnaht-Bildung zeigen Figur 2 und Figur 3 Querschnitte durch die Schweißnaht 1 auf unterschiedlichen Ebenen, wie in Figur 1 entsprechend gekennzeichnet. Figur 2 zeigt eine relativ breite Schweißnaht 1
15 und ein relativ großes Schmelzbad 23 aus einer Draufsicht. Figur 3 hingegen stellt eine von der Oberfläche des härtbaren Stahls 2 entfernten Bereich dar, beispielsweise im Bereich der kleinsten Weite 32 des Stichlochs 24. Die Schweißnaht 1 folgt dabei jeweils der gewünschten Schweißlinie 5.

20 Figur 4 zeigt schematisch in einem Querschnitt einen schweißtechnischen Verbund 12, der nach dem beschriebenen Verfahren hergestellt wurde. Der Verbund 12 ist als durchgehende Schweißnaht 1 bezüglich zweier, benachbart zueinander angeordneter Komponenten 13 ausgeführt. Beide Komponenten 13 weisen ein rotationssymmetrisches Hohlprofil auf, die links dargestellte
25 Komponente 13 ist als Hohlwelle 14 ausgeführt. Die rechte Komponente 13 ist zudem an einer massiven weiteren Komponente 13 fixiert, die erheblichen Einfluss auf die Wärmeableitung in den zu verschweißenden Teilbereichen 16 der Schweißnaht 1 zur Folge hat. Zumindest die beiden hohlprofilartigen Komponenten 13 umfassen einen härtbaren Stahl.

- Zur Ausbildung der Schweißnaht 1 werden die Komponenten 13 in den Teilbereichen 16 durch einen Plasmastrahl 9 beziehungsweise einen Lichtbogen 7 (beide nicht dargestellt) so erhitzt, dass der Stahl zumindest teilweise in einen schmelzartigen Zustand übergeht. Neben dem Bereich der Schweißnaht 1 ist auch 5 eine so genannte Wärmeeinflusszone 35 erkennbar. Die Schweißnaht 1 wurde als Radialrundumschweißung ausgeführt, wobei sich diese über die gesamte Wandstärke 15 der Komponenten 13 mit einer Breite 25 im Bereich von 2,0 mm bis 5,0 mm erstreckt.
- 10 Aus Figur 5 ist ein Antriebssystem 19 für ein vierradgetriebenes Fahrzeug 10 erkennbar. In diesem Fall werden durch einen Motor 18 alle vier Räder 26 angetrieben. Im Bereich der Vorderachse und unter dem angedeuteten Motor 18 ist ein Motorgetriebe 28 erkennbar. Im Bereich der Hinterachse ist ein so genanntes Achsgetriebe 29 vorgesehen. Zum Antrieb der Räder 26 dienen 15 Seitenwellen 27. Die Verbindung zwischen dem Motorgetriebe 28 und dem Achsgetriebe 29 wird durch eine Gelenkwellenanordnung bereitgestellt, welche zwei Hohlwellen 14 umfasst. Diese ist durch ein etwa mittig angeordnetes Zwischenlager 31 zusätzlich an der Bodengruppe des Fahrzeugs 17 gelagert. Die Gelenkwellenanordnung weist in einem ersten Gelenkwellenabschnitt eine nahe 20 zum Motorgetriebe 28 angeordnetes erstes Gelenk 30 in Form eines Gleichlauffestgelenks auf. Zur Verbindung der beiden Gelenkwellenabschnitte beziehungsweise Hohlwellen 14 ist ein zweites Gelenk 30 mittig in Form eines Gleichlauffestgelenks vorgesehen. Am Ende des zweiten Gelenkwellenabschnitts beziehungsweise der rechts gezeichneten Hohlwelle 14 ist ein drittes Gelenk 30 in 25 Form eines Gleichlauffestgelenks angeordnet, das über Verbindungsmittel mit dem Achsgetriebe 29 verbunden ist. Die Hohlwellen 19 beziehungsweise Gelenkwellenabschnitte rotieren bei den meisten Anwendungsfällen mit einer Drehzahl die über der in das Schaltgetriebe oder Automatikgetriebe durch den Motor 18 eingeleiteten liegen. Die Untersetzung erfolgt im Bereich des 30 Achsgetriebes 29. Während beispielsweise die Hohlwellen 14 und die zugehörigen Gelenke 30 Drehzahlen bis 10.000 Umdrehungen pro Minute

ausführen müssen, liegen die Drehzahlen der Seitenwellen 27 zum Betrieb der Räder 26 in der Größenordnung bis 2.500 Umdrehungen pro Minute.

Der erfindungsgemäße Verbund wird bevorzugt bezüglich folgender Bauteile
eingesetzt:

- Gelenkwellensystemkomponenten die gefügt werden, wie z.B.:
 - o Rohrwelle/Vollwelle
 - o Rohrwelle/Gelenkaußenteil
 - o Rohrwelle/Zapfen
 - o Rohrwelle/Gelenkinnenteil (z.B.: Nabe)
 - o Gelenkaußenteil/Gehäusedeckel
 - o Gelenkaußenteil/Flansch –z.B.: Getriebeflansche
 - o Gelenkscheibe/Gelenkboden
 - o Verschiebehülse/Wellenzapfen
- Differential- / Getriebesysteme
 - o Zahnrad/Zahnrad
 - o Rohrwelle/Zahnrad
 - o Gehäuse/Gehäusedeckel
 - o Zapfen/Gehäusedeckel

Bezugszeichenliste

- | | | |
|----|----|------------------|
| 5 | 1 | Schweißnaht |
| | 2 | Stahl |
| | 3 | Materialdicke |
| | 4 | Schweißelektrode |
| | 5 | Schweißlinie |
| 10 | 6 | Plasmagas |
| | 7 | Lichtbogen |
| | 8 | Schutzgas |
| | 9 | Plasmastrahl |
| | 10 | Durchmesser |
| 15 | 11 | Länge |
| | 12 | Verbund |
| | 13 | Komponente |
| | 14 | Hohlwelle |
| | 15 | Wandstärke |
| 20 | 16 | Teilbereich |
| | 17 | Fahrzeug |
| | 18 | Motor |
| | 19 | Antriebssystem |
| | 20 | Schweißrichtung |
| 25 | 21 | Schutzgasdüse |
| | 22 | Plasmadüse |
| | 23 | Schmelze |
| | 24 | Stichloch |
| | 25 | Breite |
| 30 | 26 | Rad |
| | 27 | Seitenwelle |

- 28 Motorgetriebe
- 29 Achsgetriebe
- 30 Gelenk
- 31 Zwischenlager
- 5 32 Weite
- 33 Schweißbrenner
- 34 Wasserkühlung
- 35 Wärmeeinflusszone

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zur Erzeugung einer Schweißnaht (1) in härtbarem Stahl (2) mit einer Materialdicke (3) ohne Sekundärerwärmung umfassend zumindest die folgenden Schritte:
 - a) Positionieren einer Schweißelektrode (4) zu einer Schweißlinie (5);
 - b) Anlegen einer Spannung;
 - 10 c) Zuführen eines Plasmagases (6);
 - d) Ausbilden eines Lichtbogens (7);
 - e) Schmelzen des Stahls (2) nahe der Schweißlinie (5) über die gesamte Materialdicke (3).
- 15 2. Verfahren zum fügetechnischen Verbinden von Komponenten (13) zur Drehmomentübertragung eines Fahrzeugs (17) aus härtbarem Stahl (2) mit einer Materialdicke (3) durch Erzeugung einer Schweißnaht (1) ohne Sekundärerwärmung umfassend zumindest die folgenden Schritte:
 - a) Positionieren einer Schweißelektrode (4) zu einer Schweißlinie (5);
 - b) Anlegen einer Spannung;
 - 20 c) Zuführen eines Plasmagases (6);
 - d) Ausbilden eines Lichtbogens (7);
 - e) Schmelzen des Stahls (2) nahe der Schweißlinie (5) über die gesamte Materialdicke (3).
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der härtbare Stahl (2) eine Materialdicke (3) im Bereich von 2,0 mm bis 10,0 mm [Millimeter] aufweist.
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schweißnaht (1) einlagig aufgeführt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schweißnaht (1) als Stoßnaht oder Kehlnaht ausgebildet wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem ein Plasmastrahl (9) während des Schweißvorgangs in Schweißrichtung (20) mit einer Schweißgeschwindigkeit von mindestens 0,2 m/min [Meter pro Minute] bewegt wird.
5
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Schweißnaht (1) durch Radialrundschweißen erzeugt wird.
10
8. Verbund (12) von mindestens zwei Komponenten (13) zur Drehmomentübertragung aus härtbarem Stahl (2), dadurch gekennzeichnet, dass der Verbund (12) mindestens eine Schweißnaht (1) umfasst, hergestellt mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
15
9. Verbund (12) nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine der Komponenten (13) eine Hohlwelle (14) mit einer Wandstärke (15) im Bereich von 2,0 mm bis 10,0 mm [Millimeter] ist.
20
10. Verbund (12) nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Verbund (12) sowie angrenzende Teilbereiche (16) der Komponenten (13) rissfrei ausgeführt sind.
- 25 11. Verbund (12) nach einem der Ansprüche 8 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass dieser eine Duktilität im Bereich von 250 HV bis 650 HV aufweist.
12. Fahrzeug (17) umfassend einen Motor (18) mit einem Antriebssystem (19),
30 dadurch gekennzeichnet, dass das Antriebssystem (19) Komponenten (13) zur Drehmomentübertragung aufweist und mindestens zwei Komponenten (13)

mit einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 miteinander verschweißt wurden, oder dass das Fahrzeug (17) einen Verbund (12) gemäß einem der Ansprüche 8 bis 11 aufweist.